

# 文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R\_2021072315351220210723154740311183074594

检测时间:2021-07-23 15:47:40

检测文献: 021

作者: Supervisor;Prof;Enterprise

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

## 检测结果

去除本人文献复制比: 95.8%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 95.8%

总文字复制比: 95.8%

单篇最大文字复制比: 94.8% (考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划研究)

重复字数: [24504]

总段落数: [3]

总字数: [25583]

疑似段落数: [3]

单篇最大重复字数: [24244]

前部重合字数: [5096]

疑似段落最大重合字数: [9954]

后部重合字数: [19408]

疑似段落最小重合字数: [6575]



指标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表格: 0

公式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

99.7%(9954) 99.7%(9954) 021\_第1部分 (总9983字)

90.4%(7975) 90.4%(7975) 021\_第2部分 (总8824字)

97%(6575) 97%(6575) 021\_第3部分 (总6776字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

## 1. 021\_第1部分

总字数: 9983

相似文献列表

去除本人文献复制比: 99.7%(9954)

文字复制比: 99.7%(9954)

疑似剽窃观点: (0)

1	考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊(导师: 葛少云;李小宇) - 《天津大学硕士论文》- 2018-12-01	98.4% (9819) 是否引证: 否
2	57662000_周昊_考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊 - 《学术论文联合比对库》- 2018-11-11	97.9% (9772) 是否引证: 否
3	2016203202_周昊_考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊 - 《学术论文联合比对库》- 2018-11-13	97.9% (9772) 是否引证: 否
4	考虑车辆事故影响的高速公路充电站与服务区协同规划 葛少云;周昊;刘洪;孙旻;张强;陈波; - 《电力系统及其自动化学报》- 2018-12-17 1	6.2% (615) 是否引证: 否

5	2_魏征_能源互联网背景下配电系统DG接入研究 魏征 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-03-25	1.6% (155) 是否引证: 否
6	能源互联网背景下配电系统DG接入研究 魏征(导师: 耿跃华) - 《河北工业大学硕士学位论文》 - 2019-04-01	1.4% (143) 是否引证: 否
7	075 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-05-05	1.4% (139) 是否引证: 否
8	系统工程+1162227048+李少鹏+含分布式能源与V2G的微网鲁棒优化调度研究 李少鹏 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-12-13	1.1% (110) 是否引证: 否
9	系统工程+1162227048+李少鹏+含分布式能源与V2G的微网鲁棒优化调度研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-03-15	1.1% (110) 是否引证: 否
10	1400034942_李少鹏_含分布式能源与V2G的微网鲁棒优化调度研究 李少鹏 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-12-10	1.1% (110) 是否引证: 否
11	充电车位常被燃油车占据 专家吁完善立法保障充电--河南频道--人民网 - 《网络 (http://henan.people.)》 - 2018	1.1% (108) 是否引证: 否
12	完善立法让电动汽车不再充电难 蒲晓磊; - 《中国人大》 - 2018-04-05	1.0% (95) 是否引证: 否
13	完善立法让电动汽车不再充电难 本报记者 蒲晓磊 - 《法制日报》 - 2018-01-30	1.0% (95) 是否引证: 否
14	充电车位常被燃油车占据 专家吁完善立法保障充电_新闻中心 - 《网络 (http://news.jcrb.com)》 - 2018	1.0% (95) 是否引证: 否
15	锂电池行业月报: 1月销量高增长, 短期板块可关注 - 道客巴巴 - 《互联网文档资源 (http://www.doc88.com)》 - 2019	0.9% (94) 是否引证: 否
16	2017年新能源汽车产销数据出炉 本报记者 赵唯 见习记者 黄珮 - 《中国能源报》 - 2018-01-15	0.8% (80) 是否引证: 否
17	含分布式能源与V2G的微网鲁棒优化调度研究 李少鹏(导师: 师瑞峰) - 《华北电力大学(北京) 硕士学位论文》 - 2019-03-01	0.7% (69) 是否引证: 否
18	电动汽车的高压互锁及故障检测 刘昕伟;朱庆芹;周美玲;殷文雪;陈剑美; - 《内燃机与配件》 - 2021-02-15	0.6% (62) 是否引证: 否
19	基于出行概率矩阵的电动汽车充电站规划 姜欣;冯永涛;熊虎;王金凤;曾庆山; - 《电工技术学报》 - 2019-04-02 1	0.4% (35) 是否引证: 否

#### 原文内容

专业硕士学位论文考虑车辆事故不确定性的高速公路充电站优化规划  
Optimal planning of Expressway charging station considering vehicle accident uncertainty  
2021 年 7 月  
国内图书分类号: ×××× 学校代码: 10079  
国际图书分类号: ×××× 密级: 公开  
专业硕士学位论文考虑车辆事故不确定性的高速公路充电站优化规划  
硕士研究生:  
导师: □□□教授企业导师: □□□  
申请学位: 工程硕士  
专业领域: 电气工程培养方式: 在职  
所在学院: 电气与电子工程学院  
答辩日期: 2021 年 8 月  
授予学位单位: 华北电力大学  
Classified Index: ××××  
U.D.C: ××××  
Dissertation for the Professional Master's Degree  
Optimal planning of Expressway charging station considering vehicle accident uncertainty  
Candidate:  
Supervisor: Prof. □□□  
Enterprise mentor:  
Academic Degree Applied for: Master of

Speciality:

Cultivation ways: Full-time/On-job

School: School of

Date of Defence: August, 2021

Degree-Conferring-Institution: North China Electric Power University

华北电力大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《考虑车辆事故不确定性的

高速公路充电站优化规划》，是本人在导师指导下，在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。

作者签名： 日期： 年月日

华北电力大学硕士学位论文使用授权书

《考虑车辆事故不确定性的高速公路充电站优化规划》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，学校可以为存在馆际合作关

系的兄弟高校用户提供文献传递服务和交换服务。本人授权华北电力大学，可以

采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：

保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日 导师签名： 日期： 年月日

摘要

随着化石能源枯竭和环境污染的加剧，电动汽车产业近年来发展迅速，在各国政府的推动下，电动汽车持有量逐年增加。充电站是为电动汽车提供电能补充的基础设施，充电站的合理布局有助于缓解里程焦虑，推动电动汽车产业的发展和普及。高速公路作为联系城市的重要纽带，保证电动汽车在高速公路的电能补充对于城市发展具有重要意义。

本文选取高速公路为研究场景，借鉴服务区规划中的相关研究，考虑车辆事故等影响交通流量不确定性的因素，提出了高速公路充电站的实用化规划方法，主要工作如下：

（1）对高速公路服务区的基本功能和设施进行了概述，归纳其基本规划原则和方法，通过服务区规划理论和已有高速公路充电站规划方法的对比，以满足电动汽车和驾乘人员多元化需求为前提，以配电网实际运行为约束，提出了高速公路充电站实用化规划数学模型。

（2）提出了考虑车辆事故的动态交通仿真方法，采用基于蒙特卡洛的事故抽样方法确定事故发生的时空位置，结合路段传输模型，分析车辆事故对于交通流量不确定性的影响。在此基础上，建立电动汽车荷电状态变化模型，提出了基于改进遗传算法的充电站规划总体求解方法。

（3）采用高速路网算例验证了本文所提出规划方法的有效性，从车辆事故、服务区、求解算法等角度分析仿真结果，算例结果表明：本文所提出的规划方法可以满足驾乘人员的充电、停车、休息等多元需求，减少规划方案的成本，增加运营收益；同时，车辆事故对于高速公路充电站选址有明显影响，充电站规划过程中应当充分考虑车辆事故所导致的交通流量的不确定性。

关键词：高速公路；服务区；充电站；车辆事故；改进遗传算法

II

Abstract

Due to the energy crisis and environmental pollution, the electric vehicle (EV) industry develops rapidly. The inventory of EV increase greatly because of the governments' policy support. Charging station is the infrastructure which could provide power supplement for EVs, and the reasonable planning of charging station will alleviate the range anxiety problems of EV drivers, which will promote the popularity of EVs.

Highway is the important infrastructure between cities, and the charging stations on the highway aim to satisfy the power demand of EVs, which plays an important role in the cities' development. The highway is selected as the research scene, and the research of rest area planning is summarized for reference. The traffic accident is also involved in this paper, which will affect the traffic flow of highway. A practical planning method is proposed in this paper, and the main contribution of this paper could be summarized as:

(1) Summarizing the basic function and facility of highway rest area, and planning rules and method are analyzed considering the location, distance, siting and sizing. The traditional charging station planning method is compared with the rest area planning theory, and a novel planning model is proposed, which aims at satisfying the multiple-demand of EV and the passengers as well as considering the safe operation of distribution network.

(2)An improved dynamic traffic flow simulation method considering the traffic accidents is proposed in this paper. The Monte Carlo method is used to simulate the time and location of accidents, and impact analyzing model is proposed to describe the accidents' impact on the traffic flow. The EV state of charge (SOC) model is proposed to describe the SOC-time and SOC-distance variation. Then, the improved genetic algorithm is used to solve the planning model.

(3)The charging station planning method is tested in a highway road network to verify the effectiveness of the proposed method. The result is analyzed from several aspects including the traffic accidents, rest area and solving time. The testing results shows that proposed method could fully satisfy the multiple demand of EV, including charging, parking and rest, and the planning cost is saved. Meanwhile, the traffic accidents will have an obvious impact on the traffic flow of highway, so the traffic accidents should be considered in the charging station planning research.

Keywords: Highway, Rest area, Charging station, Traffic accident, Improved GA

### III

目录

摘要

..... I	
ABSTRACT.....	
..... II	
目录	
..... III	
第 1 章绪论	
..... 1	
1.1 课题背景及研究的目的和意义.....	1
1.2 电动汽车充电站规划研究现状.....	2
1.3 本文主要研究内容及章节安排.....	5
第 2 章考虑服务区的高速公路充电站规划数学模型.....	7
2.1 服务区基本设施及功能	
..... 7	
2.2 服务区规划的基本原则及方法.....	8
2.2.1 基本原则	
..... 8	
2.2.2 规划方法	
..... 9	
2.3 高速公路充电站和服务区规划对比分析.....	11
2.4 高速公路充电站规划模型	
..... 12	
2.5 本章小结	
..... 13	
第 3 章考虑车辆事故的动态交通仿真及电动汽车 SOC 变化模型.....	14
3.1 高速路交通流量特性分析	
..... 14	
3.2 考虑车辆事故的动态交通仿真方法.....	15
3.3 电动汽车 SOC 变化模型	
..... 19	
3.4 基于遗传算法的高速充电站求解方法.....	21
3.5 本章小结	
..... 23	
第 4 章算例分析	
..... 24	
4.1 算例概况	
..... 24	
4.2 仅考虑车辆故障模拟环节的对比分析.....	25



4.3 考虑车辆事故的服务区和充电站协同规划.....	28
4.4 改进遗传算法的效果分析.....	30
4.5 本章小结.....	32
IV 展望.....	32
参考文献.....	33
攻读硕士学位期间发表的论文及其它成果.....	38

## 第 1 章绪论

1.1 课题背景及研究的目的和意义随着我国国民经济的发展，机动车的保有量也逐年增加，加剧了我国对于传统化石能源的依赖，也产生了环境污染等问题。而电动汽车作为一种新兴的交通工具，具有绿色、高效和节能等特点。因此，推广电动汽车是缓解化石能源枯竭和解决环境污染问题的有效途径。

(1) 保障能源安全能源产业是国民经济发展的基础，即是国家战略安全的保证，也是实现可持续发展的前提。随着我国各产业规模的不断扩张，对石油、煤炭和天然气等传统化石能源的需求不断增大。2017 年，中国石油净进口量达到 4.188 亿吨，已成为全球最大的原油进口国，比 2016 年上升 10.7%。《2017 年国内外油气行业发展报告》[1]指出，2017 年我国石油消费量约为 5.88 亿吨，其中车用燃油消耗占总消耗的比例近 55%。对于进口化石能源的依赖已成为我国能源安全问题的巨大隐患，而电动汽车的推广将成为解决能源安全问题有效途径。在我国大力发展分布式发电技术的背景下[2]，电动交通工具对于传统化石能源的间接依赖度逐渐降低。通过科学的对充电设施选址和定容，可以有效地助力电动汽车产业发展，推动电动汽车保有量增加，缓解我国长期依赖石油进口的局面，从而有效地保障我国的能源安全。

### (2) 推动节能减排

2017 年我国机动车保有量达 3.10 亿辆[3]，与 2016 年相比，增加 2304 万辆。

随着燃油车数量的激增，汽车尾气导致的环境污染问题愈加严重[4]，所导致的雾霾等大气污染问题引起了政府的高度重视。而电动汽车以其节能、环保和高效的优势，成为解决环境污染的有效途径。相比于传统纯燃油车，混合动力电动汽车可降低 75%的一氧化碳排放，降低 40%的氮氧化物排放；纯电动汽车行驶过程中几乎不产生一氧化碳，同时可降低约 50%的氮氧化物污染。通过充电设施的合理布局，可以为电动汽车车主提供高效优质的充电服务，解决电动汽车“充电难”的问题，从而提高社会大众的购买意愿，利用电动汽车零排放、无污染、低能耗的特点，改善城市环境质量，推动节能减排。

(3) 国家加速推动电动汽车产业发展电动汽车产业已经是我国的新兴战略产业，我国政府已经推出了一系列补贴扶持政策以推动电动汽车产业发展[5]。在此背景下，我国电动汽车保有量快速增长。2

至 2017 年底，全国新能源汽车保有量达 153 万辆，其中 2017 年新能源汽车新注册登记 65 万辆，与 2016 年相比增长 24.02%。同时，根据摩根大通 (J.P.Morgan)

的预测，2025 年电动车汽车产品将会占全球市场份额的 35%，而 2030 年产品占比将会上升至 48%。目前，国内各主要汽车生产企业均推出了各自的电动汽车品牌，形成了完整的电动汽车产业链[7]。

充电站是电动汽车产业链中的重要一环，随着电动汽车保有量的逐年增加，

迫切需要充电站等配套服务设施保证电动汽车的正常续航。截至 2018 年初，全国公共类充电基础设施保有量 213903 个，其中交流充电基础设施 86469 个、直流充电基础设施 61375 个、交直流一体充电基础设施 66059 个。考虑到我国 2020 年 500 万辆电动汽车保有量的目标，未来两年将是电动汽车充电设施大规模建设阶段，充电站的合理规划将促进相关产业转型，使得电动汽车产业成为我国新的经济增长点[8]。

(4) 构建智能电网电动汽车是一种移动储能装置，在 V2G (Vehicle to Grid) 技术下，可以为电网提供电量支撑[9]，提供改善节点电压[10-12]、减小线路峰谷差[13,14]、调频[15-18]

和旋转备用[19-21]等辅助服务，也可以成为微网[22-24]、综合能源系统[26,27]、智能小区[28,29]的重要组成部分。在当前风机和光伏装机量不断增加的背景下，还可以通过电动汽车的调度实现对可再生能源出力的有效消纳[30]。随着保有量的增加，

电动汽车在智能电网中将发挥更加重要的作用，充电设施是电动汽车接入上级电网的重要途径，充电设施的合理规划有助于实现电动汽车的有序入网，也是充分发挥电动汽车移动储能特性的重要保证。

1.2 电动汽车充电站规划研究现状目前，国内外对于电动汽车充电站规划已经开展了较多研究。电动汽车充电站是联系电力网络和交通网络的重要基础设施，充电站的规划受到车主出行特性、充电站建设成本与运营收益、配电网、交通网络和服务便捷性等因素的影响，

使得充电站规划问题具有较大的复杂度。以下从充电站规划原则、充电需求计算方法、车辆类型和规划年限、高速公路充电站规划等方面分析已有研究。

(1) 充电站规划原则文献[31]分析了电动汽车充电站规划的影响因素，包括电动汽车运行模式、能源补给方式和动力电池特性及其他环境条件，并从服务半径、交通密度、输配电网现状的角度提出了基本原则。文献[32]总结了充电设施建设过程中的普遍问题和结合我国现状的特殊问题，分析了电动汽车规模变化、充电模式选择与配套设施配置、电网与充电设施的交互作用等关键问题。以上文献从站址选取、运营 3

模式、车载电池特性、路网和配电网影响等方面对充电站规划问题给出原则性建议，提出了充电站规划研究的总体思路。

(2) 电动汽车充电需求研究现状充电需求评估是充电站规划的基础，充电需求计算方法大体可以分为统计建模方法和交通模拟方法。在统计建模方法中，加权 Voronoi 图[33]和美国交通部的 NHTS (National Household Travel Survey) 家庭出行调

查[34-35]在充电需求计算中得到了广泛的应用。文献[36]基于 NHTS 家庭出行调查的结果建立充电需求模型，利用加权 Voronoi 图划分服务范围和调整站址容量，采用粒子群算法作为整体求解方法选址定容。文献[37]分析了私家车、公交车和出租车的日行驶距离概率分布，以此计算该区域当日总充电需求，建立集中型充电站选址定容的两层规划模型，将改进遗传算法和自适应粒子群算法分别作为上下层的求解方法。文献

[38]将路口车流量视为已知数据并抽象为充电负荷聚集点，考虑配电网容量约束，采用加权 Voronoi 图作为充电站选址定容方法。文献[39]进一步研究了基于变权 Voronoi 图和混合离散粒子群算法的优化算法在城市充电站规划中的应用，

从算法角度改进加权 Voronoi 图的应用过程。文献[40]预测了电动汽车空间分布，利用排队论优化充电站容量，以社会年总成本最小为目标建立数学模型，利用加权 Voronoi 图和粒子群算法求解。

在通过交通模拟方法确定充电需求的研究中，OD (origin-destination) 矩阵、引力空间模型、出行链、停车生成率等方法得到了较为广泛的应用，通过模拟车辆在道路网络或空间位置上的启停和转移，进而确定电动汽车电量消耗，从而得到充电需求分布情况。文献[41]以路网 OD 矩阵作为交通流量的描述方法，以交通满意度最大为充电站选址的目标函数。文献[42]将路网 OD 矩阵和引力模型结合，以捕获的交通流量最大、配电网网损最小和电压偏差最小为目标，研究了充电站的多目标规划。文献[43]介绍了出行链的相关理论，将出行目的地设置为：

回家、工作、出行吃饭、社交休闲和其他事务，利用马尔科夫转移过程描述目的地转移，得到充电负荷预测结果。文献[44]将出行链和蒙特卡洛抽样方法结合，

划分规划区域的网格并赋予不同的路网系数和功能系数，采用结合加权 Voronoi 图的免疫算法求解优化模型。文献[45]提出了一种基于改进停车生成率的充电负荷预测方法，通过考虑不同时间、不同功能区的停车生成率，结合蒙特卡洛抽样计算区域的总充电需求。

(3) 考虑不同车辆类型的充电站规划研究现状在车辆类型方面，部分文献选取出租车和公交车等专门的车辆类型，结合出行特性和该类型车辆的典型运营特征，研究专门服务于该类车辆的充电设施。文献[46]分析了出租车驾驶员选择充电站的行为模式以及出租车的概率行为特 4

性，提出出租车选择站点的效用函数，以全社会年总成本最小为目标函数，以配电网安全运行和充电站间距离为约束条件建立了数学模型。文献[47]考虑电动出租车的随机行为特性和路网行程时间可靠性，以配电网安全运行为约束，提出了电动出租车充电站的多目标规划方法。文献[48]研究了电动公交车的运营模式，

将充、换电站内设施的投资和运营成本最小设置为目标函数，将拒绝服务率设置为约束条件，采用 AP 算法进行电量需求的聚类分析，进而确定站址和容量。

(4) 考虑不同规划年限的充电站规划在规划年限方面，可以将规划形式分为目标年规划和多阶段规划，目前对于充电站规划的研究主要集中在目标年规划，考虑不同阶段电动汽车渗透率变化的研究较少。文献[49]通过随机组合方法综合生成多组未来发展场景，利用全局优化方法计算各个场景下的多阶段规划方案，运用数据包络分析方法建立计及不确定性因素的规划方案评价模型，从而选取最优规划方案。文献[50]研究了电动汽车数量增长情况下的多阶段充电站规划方法，以捕获的交通流量最大为规划目标之一，采用混合整数规划结合遗传算法求解规划模型。

(5) 高速公路充电站规划研究现状在研究的场景上，充电站规划研究主要可以分为城市内充电站规划和城际高速公路充电站规划。目前对于城市内充电站规划研究较多，对于城际高速公路充电站规划研究相对较少。文献[51]以规划方案的服务车辆数目最大为目标建立选址模型，利用排队论确定容量，并分析了高速公路充电站的运行指标。文献

[52]选取环形高速公路为研究对象，利用 OD 矩阵模拟高速公路的车流分布，采用共享邻居算法对充电需求聚类以确定站址，利用排队论优化充电站容量。文献

[53]以年平均成本最小为目标建立充电需求模型，通过启发式算法得到待选站址，利用 Cplex 函数选取最优方案。文献[54]以经济成本和等待时间为两个规划目标，提出一种基于路段传输模型的动态交通仿真方法，分析了高速公路车流量的动态分布，结合驶入率统计数据，利用多目标粒子群算法求解。

以上文献从充电需求计算方法、数学模型构建、选址定容和模型求解方法等角度为本研究提供了参考。然而，现有的高速公路充电站规划研究多忽略了服务区对于规划方案的影响。服务区是高速公路上重要的基础设施，服务区和充电站均处于封闭的高速公路场景中，研究方法上也都存在选址、设施配置和收益计算等过程。文献[55]研究了影响服务区内各设施规模的因素，包括服务区之间的距离、驶入率和服务区交通流量等。文献[56]通过乘客平均消费、车辆平均载客和驶入率等统计结果计算了各项服务设施的建设成本和收入。文献[57]归纳了服务区的主要功能和设施，以车辆驶入率作为主要参数，计算服务区内各个设施的规模。 5

同时，相比于城市内复杂的道路网络，高速公路具有路径选择少和全程封闭等特点，车辆事故可能会对车流分布产生较大影响，但是在充电站规划中考虑该影响的研究还较少。文献[58]统计了天津地区的高速公路车辆事故，从时间和空间分布的角度归纳事故的时空分布规律，分析了道路、车辆和环境等方面的影响。

文献[59]研究了单次车辆事故的过程，将其分为事故发生、事故处理和拥堵消散三个时间点，从交通条件、道路条件、天气和环境影响等方面分析了影响车辆事故的因素。

另外，在高速公路场景下，充电等待时间是影响用户充电选择的重要因素。目前，排队论 [60] 在充电站定容和计算平均等待时间中得到了广泛应用

[38-40, 48]。文献[61]选取高速公路作为研究场景，利用排队论衡量充电站内的服务状况，用以计算用户等待时间成本并确定充电站的最佳规模。文献[62]以电动出租车充电站为研究对象，划分为两个运行时段，利用排队论分别建立两种充电站服务系统的数学模型，以整个电动出租车充电站服务系统的总费用最低为优化目标。

结合以上相关文献分析，将高速公路充电站规划现阶段研究所存在的主要问题总结如下：  
当电动汽车驶入高速公路充电站时，除却充电需求外，还会产生停车、餐饮休息、购物等需求[57]，在充电站规划时应考虑配置相应的停车场、餐厅和超市等配套服务设施，考虑到服务区有一定的接入充电桩的潜力，为充分利用服务区的已有资源，可以考虑在服务区内建设充电桩；

由于高速公路具有全封闭、全立交、行驶路径单一的特点，在高速路网车流模拟的过程中，应根据事故发生的时空特性进行相应的影响分析，从而更加精确地模拟车流分布；



高速公路的快速充电场景中，充电等待时间是影响用户充电选择的重要因素，考虑到排队论主要用于计算等待时间的平均值，难以反映队列等待时间的动态变化，有必要考虑等待时间的动态变化建立模型，从而保证规划方案的实用性。

1.3 本文主要研究内容及章节安排本文的主要工作和章节安排描述如下：

第 1 章概括了课题的背景意义和研究现状，从能源安全、节能减排、产业升级和智能电网等方面分析充电站规划的研究背景和意义，从充电站规划原则、充电需求计算、车辆类型、规划年限和研究场景等角度归纳充电站规划的研究现状。

最后对本文主要工作和章节安排进行介绍。

第 2 章提出了考虑服务区的高速公路充电站规划数学模型。分析了服务区的 6 主要设施和功能，从服务区间距、选址方法等角度归纳服务区规划的基本原则，总结服务区规划所采用的驶入率等方法，通过对比服务区规划理论和已有的高速公路充电站规划方法，提出高速公路充电站实用化规划数学模型。

第 3 章研究了考虑车辆事故的动态交通仿真方法及电动汽车 SOC 变化模型。

首先，分析高速公路交通流量特性，介绍路段传输模型；其次，研究车辆事故抽样方法，结合路段传输模型，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法；最后，建立电动汽车荷电状态变化模型，将改进的遗传算法作为求解方法，归纳了总体求解流程。

第 4 章选取高速路网作为算例场景，设置路网、配电网、电动汽车和车辆事故等方面的参数，从车辆事故、服务区和改进遗传算法等方面验证本文所提出规划方法的有效性和实用性。

第 5 章总结了本文主要成果，概括主要研究结论，展望了后续的研究工作。 7

第 2 章考虑服务区的高速公路充电站规划数学模型

2.1 服务区基本设施及功能高速公路具有全封闭、全立交的特性，无法随意出入和停车。考虑到车主和乘客在旅行途中对于餐饮、休息、购物和加油等方面的需求，需要在高速公路沿线设置服务设施，从而为驾乘人员和车辆提供必要的基础服务。服务的主要功能可以分为“服务于车辆”和“服务于驾乘人员”两个方面。其中，服务于车辆的功能主要包括加油加水、停车、检查维修和紧急救援等；服务于驾乘人员的功能主要包括食宿、厕所、休息、购物和医疗救助等。

图 2-1 服务区内各服务设施典型位置示意图如图 2-1 所示，我国服务区的典型配置设施主要包括：停车场、加油站、公共厕所、餐厅、超市、绿化带、附属设施和其他功能设施等[55, 57]。具体如下：

停车场：为车辆提供停靠服务的设施，目前国内绝大多数高速公路停车场为免费停靠，不收取停车费。全国平均每个服务区停车场面积为 7150m<sup>2</sup>，其中东、

中、西部的平均面积分别为 9250m<sup>2</sup>、6000m<sup>2</sup> 和 5500m<sup>2</sup>。

加油站：为车辆提供燃料的服务设施，通常也配备加水设施。根据位置不同可以分为服务区入口型、出口型和中间型三种。全国每个服务区加油站平均面积为 1400m<sup>2</sup>，东、中、西部平均面积分别为 2400m<sup>2</sup>、600m<sup>2</sup>和 900m<sup>2</sup>。

公共厕所：供驾驶员和乘客洗漱和解决生理需求的必要场所，是服务区内必备的基础服务设施，其规模大小主要取决于车流量和驶入率等因素。全国每个服务区公厕平均面积为 800m<sup>2</sup>，东、中、西部平均面积分别为 1000m<sup>2</sup>、700m<sup>2</sup> 和

500m<sup>2</sup>。 8

餐厅：为驾驶员和乘客提供饮食、休息的场所，主要包括餐厅和后厨两部分。

全国每个服务区平均餐厅面积为 400m<sup>2</sup>，其中东、中、西部的平均面积分别为 550m<sup>2</sup>、300m<sup>2</sup>、250m<sup>2</sup>。

超市：主要面向有购物需求的乘客销售食品、饮料等。全国每个服务区超市平均面积为 120m<sup>2</sup>，其中东、中、西部的平均面积分别为 150m<sup>2</sup>、100m<sup>2</sup> 和 100m<sup>2</sup>。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 摘要 随着化石能源枯竭和环境污染的加剧，电动汽车产业近年来发展迅速，在各国政府的推动下，电动汽车持有量逐年增加。充电站是为电动汽车提供电能补充的基础设施，充电站的合理布局有助于缓解里程焦虑，推动电动汽车产业的发展和普及。高速公路作为联系城市的重要纽带，保证电动汽车在高速公路的电能补充对于城市发展具有重要意义。
2. 在此基础上，建立电动汽车荷电状态变化模型，提出了基于改进遗传算法的充电站规划总体求解方法。
3. 而电动汽车作为一种新兴的交通工具，具有绿色、高效和节能等特点。因此，推广电动汽车是缓解化石能源枯竭和解决环境污染问题的有效途径。
4. 随着我国各产业规模的不断扩张，对石油、煤炭和天然气等传统化石能源的需求不断增大。2017 年，中国石油净进口量达到 4.188 亿吨，已成为全球最大的原油进口国，比 2016 年上升 10.7%。
5. 对于进口化石能源的依赖已成为我国能源安全问题的巨大隐患，而电动汽车的推广将成为解决能源安全问题有效途径。
6. 通过科学的对充电设施选址和定容，可以有效地助力电动汽车产业发展，推动电动汽车保有量增加，缓解我国长期依赖石油进口的局面，从而有效地保障我国的能源安全。
7. 而电动汽车以其节能、环保和高效的优势，成为解决环境污染的有效途径。相比于传统纯燃油车，混合动力电动汽车可降低 75%的一氧化碳排放，降低 40%的氮氧化物排放；纯电动汽车行驶过程中几乎不产生一氧化碳，同时可降低约 50%的氮氧化物污染。通过充电设施的合理布局，可以为电动汽车车主提供高效优质的充电服务，解决电动汽车“充电难”的问题，从而提高社会大众的购买意愿，利用电动汽车零排放、无污染、低能耗的特点，改善城市环境质量，推动

- 节能减排。
8. 在此背景下，我国电动汽车保有量快速增长。 2  
至 2017 年底，全国新能源汽车保有量达 153 万辆，其中 2017 年新能源汽车新注册登记 65 万辆，与 2016 年相比增长 24.02%。
9. 充电站是电动汽车产业链中的重要一环，随着电动汽车保有量的逐年增加，迫切需要充电站等配套服务设施保证电动汽车的正常续航。截至 2018 年初，全国公共类充电基础设施保有量 213903 个，其中交流充电基础设施 86469 个、直流充电基础设施 61375 个、交直流一体充电基础设施 66059 个。
10. 随着保有量的增加，  
电动汽车在智能电网中将发挥更加重要的作用，充电设施是电动汽车接入上级电网的重要途径，充电设施的合理规划有助于实现电动汽车的有序入网，也是充分发挥电动汽车移动储能特性的重要保证。  
1.2 电动汽车充电站规划研究现状目前，国内外对于电动汽车充电站规划已经开展了较多研究。电动汽车充电站是联系电力网络和交通网络的重要基础设施，充电站的规划受到车主出行特性、充电站建设成本与运营收益、配电网、交通网络和服务便捷性等因素的影响，使得充电站规划问题具有较大的复杂度。以下从充电站规划原则、充电需求计算方法、车辆类型和规划年限、高速公路充电站规划等方面分析已有研究。
11. 以上文献从站址选取、运营 3  
模式、车载电池特性、路网和配电网影响等方面对充电站规划问题给出原则性建议，提出了充电站规划研究的总体思路。
12. 以上文献从充电需求计算方法、数学模型构建、选址定容和模型求解方法等角度为本研究提供了参考。然而，现有的高速公路充电站规划研究多忽略了服务区对于规划方案的影响。服务区是高速公路上重要的基础设施，服务区和充电站均处于封闭的高速公路场景中，研究方法上也都存在选址、设施配置和收益计算等过程。
13. 5  
同时，相比于城市内复杂的道路网络，高速公路具有路径选择少和全程封闭等特点，车辆事故可能会对车流分布产生较大影响，但是在充电站规划中考虑该影响的研究还较少。
14. 1.3 本文主要研究内容及章节安排本文的主要工作和章节安排描述如下：  
第 1 章概括了课题的背景意义和研究现状，从能源安全、节能减排、产业升级和智能电网等方面分析充电站规划的研究背景和意义，从充电站规划原则、充电需求计算、车辆类型、规划年限和研究场景等角度归纳充电站规划的研究现状。  
最后对本文主要工作和章节安排进行介绍。  
第 2 章提出了考虑服务区的高速公路充电站规划数学模型。分析了服务区的 6  
主要设施和功能，从服务区间距、选址方法等角度归纳服务区规划的基本原则，总结服务区规划所采用的驶入率等方法，通过对比服务区规划理论和已有的高速公路充电站规划方法，提出高速公路充电站实用化规划数学模型。  
第 3 章研究了考虑车辆事故的动态交通仿真方法及电动汽车 SOC 变化模型。  
首先，分析高速公路交通流量特性，介绍路段传输模型；其次，研究车辆事故抽样方法，结合路段传输模型，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法；最后，建立电动汽车荷电状态变化模型，将改进的遗传算法作为求解方法，归纳了总体求解流程。  
第 4 章选取高速路网作为算例场景，设置路网、配电网、电动汽车和车辆事故等方面的参数，从车辆事故、服务区和改进遗传算法等方面验证本文所提出规划方法的有效性和实用性。  
第 5 章总结了本文主要成果，概括主要研究结论，展望了后续的研究工作。
15. 考虑服务区的高速公路充电站规划数学模型  
2.1 服务区基本设施及功能高速公路具有全封闭、全立交的特性，无法随意出入和停车。考虑到车主和乘客在旅行途中对于餐饮、休息、购物和加油等方面的需求，需要在高速公路沿线设置服务设施，从而为驾乘人员和车辆提供必要的基础服务。服务的主要功能可以分为“服务于车辆”和“服务于驾乘人员”两个方面。其中，服务于车辆的功能主要包括加油加水、停车、检查维修和紧急救援等；服务于驾乘人员的功能主要包括食宿、厕所、休息、购物和医疗救助等。
16. 具体如下：  
停车场：为车辆提供停靠服务的设施，目前国内绝大多数高速公路停车场为免费停靠，不收取停车费。全国平均每个服务区停车场面积为 7150m<sup>2</sup>，其中东、中、西部的平均面积分别为 9250m<sup>2</sup>、6000m<sup>2</sup> 和 5500m<sup>2</sup>。  
加油站：为车辆提供燃料的服务设施，通常也配备加水设施。根据位置不同可以分为服务区入口型、出口型和中间型三种。全国每个服务区加油站平均面积为 1400m<sup>2</sup>，东、中、西部平均面积分别为 2400m<sup>2</sup>、600m<sup>2</sup>和 900m<sup>2</sup>。  
公共厕所：供驾驶员和乘客洗漱和解决生理需求的必要场所，是服务区内必备的基础服务设施，其规模大小主要取决于车流量和驶入率等因素。全国每个服务区公厕平均面积为 800m<sup>2</sup>，东、中、西部平均面积分别为 1000m<sup>2</sup>、700m<sup>2</sup> 和 500m<sup>2</sup>。 8  
餐厅：为驾驶员和乘客提供饮食、休息的场所，主要包括餐厅和后厨两部分。  
全国每个服务区平均餐厅面积为 400m<sup>2</sup>，其中东、中、西部的平均面积分别为 550m<sup>2</sup>、300m<sup>2</sup>、250m<sup>2</sup>。  
超市：主要面向有购物需求的乘客销售食品、饮料等。全国每个服务区超市平均面积为 120m<sup>2</sup>，其中东、中、西部的平均面积分别为 150m<sup>2</sup>、100m<sup>2</sup> 和 100m<sup>2</sup>。



2. 021_第2部分		总字数：8824
相似文献列表		
去除本人文献复制比：90.4%(7975)      文字复制比：90.4%(7975)      疑似剽窃观点：(0)		
1	考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划研究 周昊(导师：葛少云;李小宇) - 《天津大学硕士论文》 - 2018-12-01	90.0% (7941) 是否引证：否
2	2016203202_周昊_考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-11-13	90.0% (7938) 是否引证：否
3	57662000_周昊_考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-11-11	90.0% (7938) 是否引证：否
4	考虑车辆事故影响的高速公路充电站与服务区协同规划 葛少云;周昊;刘洪;孙旻;张强;陈波; - 《电力系统及其自动化学报》 - 2018-12-17 1	4.1% (365) 是否引证：否
5	高速公路财务管理与监督浅析 王辉; - 《行政事业资产与财务》 - 2011-06-28	0.5% (41) 是否引证：否
原文内容		

其他功能设施：除却以上基本服务设施外，服务区还包括汽车修理厂和住宿房间等其他功能性设施。为满足服务区供电、通信和给排水等基本功能，还配置了相应的变压器、给排水和通信设施。

2.2 服务区规划的基本原则及方法

2.2.1 基本原则服务区通常分布于高速公路的两侧，在上行和下行车道分别设置，且两侧服务区的布置一般是相同的，称为“一对服务区”。该规划方法主要是考虑到服务区成对存在可以有效节省给排水管网、电力网络的架设费用，同时也可以节省服务区物资配送、维修等费用。以下从“服务区间距”和“服务区位置选取”两方面分析服务区规划的影响因素和基本原则。

(1) 服务区间距选取根据中国公路学会统计，截至 2010 年底，我国高速公路总里程已达到 7.4 万公里，高速公路服务区共计 1300 对，平均约每 57km 一对服务区。当规划对象为一条高速公路全线上的服务区时，从以下三个方面分析服务区间距选取的影响因素：

安全行车：从交通安全出发，根据国外交通工程相关研究，一般在高速公路上行驶时，每连续行驶 2-3 小时便需要停车休息 5-10 分钟，连续行驶 5 小时需要停车休息 1 小时，每天最好连续行驶不要超过 8 个小时。因此，服务区间距的选取应考虑安全行车的需求，以供驾驶员休息。

车辆行驶加油：考虑到高速公路车速一般为每小时 80-100km，假定司机提前 20-30 分钟发现燃料即将耗尽，则应保证服务设施的间距应当为 30-50km。

对于交通流量较大的路段，考虑到有加油需求的车辆较多，服务区间距应适当减小。

城市分布：我国城镇距离一般不超过 60km，乡村间距平均在 10km 左右。

对于城镇分布密度高的地方，出行需求较大，交通量较大，且短距离出行较多，在服务区停留的比例相对较少。因此，经济发达、人口稠密的地区服务设施的间距应适当缩小；反之，对于人口稀疏的地段，服务设施间距应扩大。 9

总的来看，除却以上三方面影响因素外，还需要考虑驾乘人员的生理需求、

车辆的故障维修需求、事故救援、公路重要性等方面的影响。综合考虑以上因素，

我国《公路工程技术标准》[63]规定服务区平均间距为 50km。

(2) 服务区地点设置服务区地点设置受多方面因素的影响，主要以节约投资、保护环境、服务车辆和社会经济效益最大化为目标，现有的服务区地点设置往往遵循以下几方面原则：

较大的交通量：在交通流量较大的路段设置服务区，不仅可以服务于更多的车辆，也可以为服务区带来更大的运营收益。同时，停车场等相应设施的规模也应适当扩大，以满足车辆停靠的需求。

较大的城镇、风景区附近：服务区设置在较大的城镇、风景区附近，不仅可以服务于更多的车辆，也可以带来更大的经济收益。同时，相应的物资供应、管理养护、员工上下班成本也可以大为降低。城镇附近的服务区车辆以短途出行为主，停留时间普遍较短，而风景区附近车辆以中远距离出行为主，平均停留时间较长。

地形路段合理：地形路段条件是服务区地点选择的基础，合理选择地形路段可以减小服务区的施工难度，同时也可以减小服务区施工对于高速公路路基的影响。服务区应尽量避免将服务区建设在小半径曲线路段或陡坡路段内。

养护管理、物资供应条件较好：服务区选址应充分考虑养护管理和物资供应的难度，选择供电、给排水和物资供应容易解决的地点。服务区规划中对于“服务区一般成对存在”的要求，也主要是出于养护管理、物资供应成本的考虑。

2.2.2 规划方法影响服务区选址的其他因素还包括交通枢纽地点、交通技术条件和路段性质等等，实际服务区规划仍然主要以经验原则为主，通用的模型或计算方法较少。

服务区规划基本方法分析如下：

如上节所述，当前高速公路服务区规划主要以经验性原则为主。对于某条高速公路全线的服务区规划，其常用规划流程如下：

步骤 1：确定高速公路结构、车道数、沿线地理环境、路段走向、路段长度等基本信息，调研公路沿线城镇的空间分布和社会、经济发展水平；

步骤 2: 调研高速公路各路段的交通流量, 包括各城镇的出行需求、交通流量和驶入率预测等, 需要根据历史数据对各路段未来的交通流量进行预测, 以保证所规划服务区可以满足日益增加的交通流量需求;

步骤 3: 参考相关行业标准 and 上节所分析的基本原则, 考虑交通流量、地形 10

路段、物资供应和城镇分布等约束条件, 计算各路段的服务区设置间距, 初步确定适合建设服务区的路段, 选取备选站址

;

步骤 4: 基于交通流量和驶入率的预测, 结合人均消费金额、车辆平均载客人数等统计调研数据, 考虑服务区加油、超市、餐厅的营业收入以及建设、经营等支出, 评估备选站址的收益, 结合服务区间距的约束, 得到服务区选址位置;

步骤 5: 确定服务区位置后, 根据所调研的实际交通流量, 确定服务区需要配置的具体设施。结合停车场供需比、加油机周转率、餐厅规模供需比等统计参数, 计算服务区内各类服务设施(停车场、加油站、餐厅、厕所和超市等)的规模。

结合以上高速公路服务区规划流程, 在服务区选址和确定规模时, 并无通用的选址和规模确定方法, 本文通过对已有文献研究的调研, 此处选取层次分析法

[56]和驶入率方法[57]进行介绍。

(1) 基于层次分析法的服务区选址方法服务区规划需要考虑各个方面的影响因素, 且社会经济发展水平等因素难以具体量化评估, 因此往往将各种影响因素归类, 建立相应的指标, 从而全面地评价规划方案, 以期选取最优规划方案, 服务区站址的典型评价指标如图 2-2 所示。

图 2-2 服务区规划方案评价指标从图中可知, 评价指标分为 7 个方面。其中, 服务间距主要评价所规划服务区之间的距离; 地形路段主要衡量行车安全和服务区建设难度; 交通流量用于评价所建设的服务区能服务的车辆数目, 需要考虑到该路段在未来有可能增加的交通流量; 城镇和景区距离主要考虑该服务区能否尽可能满足公路沿线的出行需求; 经济效益用于衡量规划方案的经济性, 可通过“人均消费”等统计参数进行估算; 给排水、电力设施和物资供应难度主要考虑给排水管和电力设施建设、服务区日常物资供应的难度; 考虑到服务区对于事故紧急救援的作用, 将“紧急救 11

援覆盖率”也归入指标。

层次分析法可以综合考虑服务区规划过程中的各方面影响因素, 给出较为全面的评价, 从而保证选址方案的全面性。然而层次分析法十分依赖于各指标权重的选取, 使得该方法受主观影响较大。

(2) 基于驶入率的服务区规模确定方法驶入率方法主要考虑了交通流量对于服务区规划的影响, 其主要思想为: 调研各段道路的交通流量, 并对未来交通量进行预测, 通过“周转率”、“使用率”等统计参数, 计算该服务区对于各类功能设施的需求大小, 进而确定各类设施的规模。

驶入率是指从高速公路主线的交通流量(辆/日)中驶入到服务区内的车辆数目。驶入率的影响因素主要包括车辆类型、地域差别、交通流量性质等, 概述如下:

①车辆类型: 私家车主要是短途出行, 一般从出发地到目的地行驶距离较短,

在服务区以加油、休息、购物为主, 对于服务区的需求率较低; 大客车主要为群体出行, 一般 2 小时停车进入服务区一次, 以满足乘客的入厕、就餐等需求,

驶入率相对较高; 货车对于服务区需求率较高, 驾驶人员需要休息、用餐、车辆检修等。

②地域差别: 当高速公路附近地形较为陡峭(如山区、高原地区)时, 驾驶员往往需要精力高度集中, 容易产生疲劳, 因此车辆驶入率稍高; 反之, 平原等地势平坦、道路笔直的地区, 驶入率相对较低。

③交通流量性质: 交通流量主要可以分为过境交通流量和区域交通流量。过境交通流量一般是长途货运、客运车辆, 出行距离较远, 一般休憩、就餐大多选择高速公路两侧的服务区, 需求相对较高。区域交通流量主要是私家车, 以短途出行为主, 因此驶入率相对较低。

2.3 高速公路充电站和服务区规划对比分析目前服务区的相关规划和研究都已经较为成熟, 而电动汽车充电站规划的相关研究仍处于起步阶段, 可供参考的实践经验还较少。考虑到高速公路充电站和服务区所处场景、功能定位都具有一定的相似性, 具体对比分析如下。

(1) 功能定位:

高速公路服务区: 服务于驾乘人员, 满足其休息、饮食、购物的需求;

满足来往车辆的加油、加水 and 停靠等需求。

高速公路充电站: 满足电动汽车充电需求作为主要功能。

(2) 主要设施: 12

高速公路服务区: 加油站、停车场、餐厅、超市、公厕、给排水和通信设施。

高速公路充电站: 充电桩、变压器、配电线路等。

(3) 规划原则:

高速公路服务区: 间距设置应满足安全行车、车辆加油、城市分布等原则;

服务区选址应考虑较大的交通流量、较好的地形路段, 满足城镇的出行需求、养护管理、物资供应的要求。

高速公路充电站: 现阶段规划研究主要以充电站收益最大、充电等待时间最小、全社会成本最小等为原则; 对于实际地理因素的考虑较少; 对于配套服务设施的考虑较少, 有部分研究考虑了变压器等电力设施的建设成本。

(4) 收益计算:

高速公路服务区: 考虑了车辆加油收益、乘客消费收益等; 计算方法上多采用“人均消费”等统计参数, 借助驶入率 and 主线交通流量计算。

高速公路充电站: 主要计算车辆充电收益; 计算方法上一般根据每辆车充电的电量消耗计算运营收益。

(5) 规划方法:

高速公路服务区: 以经验原则为主, 通用模型和计算方法较少; 层次分析方法和驶入率方法是较为常用的规划方法。

高速公路充电站: 通过车流模拟方法确定充电需求分布; 采用排队论、聚类算法等确定配置的充电桩数目。

2.4 高速公路充电站规划模型通过对规划对象、设施配置、收益计算等方面的对比, 建立以下实用化规划模型:

(一) 目标函数

高速公路充电站的规划是以收益最大为目标函数的。

Max (总收入 — 总成本) (2-1)

其中总收入包括车辆充电收入和乘客消费净收入，具体表达式如下：

(1) 车辆充电收入

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (1)$$

inm

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} = (2-2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} = (2-2)$$

(2) 乘客消费净收入

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} = (2-3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} = (2-3)$$

pms

q

p q

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} = (2-3)$$

总成本包括以下几个方面：

(1) 充电桩建设成本

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-4)$$

n

i

i

r pC

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-4)$$

(2) 线路建设成本  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-5)$

s

line p

i p

p l

C

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-5)$$

(3) 停车场建设成本

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-6)$$

s

p

p

q p

C

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-6)$$

(4) 配套服务设施建设成本

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-7)$$

s

p

p

q w s p

C

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-7)$$

(5) 运行维护成本  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-8)$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-8)$$

(二) 约束条件

(1) 节点电压约束：

min

L

i

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-9)$$

(2) 线路电流约束：

, max

, Lj

j

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-10)$$

(3) 充电等待时间约束

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} = (2-10)$$

w w, max



#### (4) 充电站成对存在约束

2.5 本章小结本章从基本设施和功能、规划原则和方法等方面总结了服务区规划相关研究，通过服务区规划理论和高速公路充电站规划方法的对比分析，提出了针对性的充电站实用化规划建议，包括功能定位、配套服务设施、规划原则和收益计算方法等。最后，建立了包括目标函数和约束条件的高速公路充电站规划实用化数学模型，使得高速公路充电站规划方法更加实用。

### 第 3 章考虑车辆事故的动态交通仿真及电动汽车 SOC

变化模型本章首先分析高速公路交通流量特性，介绍路段传输模型，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法，采用基于蒙特卡洛的车辆事故抽样方法确定事故发生的时空位置，基于路段传输模型分析事故影响，通过单次车辆事故算例验证车辆事故对于交通流量不确定性的影响。基于以上考虑车辆事故的动态交通仿真方法，

建立电动汽车 SOC 变化模型，分析路上行驶、充电选择和站内等待过程，提出基于改进遗传算法的求解方法，并归纳高速公路充电站规划总体求解流程。

#### 3.1 高速路交通流量特性分析

(一) 高速公路行车特征分析在城际互联交通网络中，高速公路是十分重要的城际交通基础设施。高速公路承担着城市乃至各省之间的人口、物资的流动需求，是各个区域间建立联系的基础。在我国现代综合交通运输体系中，高速公路占据重要的地位，相比于其它运输方式，高速公路行车主要有以下特征：

(1) 平均行车速度快目前，我国高速公路至少设置有四个行车道，道路中央设置绿化隔离带分割两个方向的车道，采用全封闭、全立交的行车方式，车辆在高速公路上可以快速行驶。一般小汽车速度可达到 120 公里/小时，货运卡车可达到 100 公里/小时。

结合我国的高速公路行车标准，车辆平均速度可达 80-100 公里/小时，相比于一般公路可提高 2-3 倍。

(2) 车流量较大高速公路是重要的城际连接基础设施，其通行能力可以充分满足城际人口、物资流动的需求。一般的普通二级公路宽约 12 米，车辆通行的能力一般为 4000-5000 辆/日；而对于宽 35 米的一条高速公路，通过量可达 40000 辆/日。

相比于城市内和城际的普通公路，高速公路车流量更大。

(3) 行车安全舒适高速公路路面、附属设施的建设标准较高，公路沿线各类设施完善，不受行人、红绿灯等因素的干扰，有严格和完善的交通监控，因此可以在高速行车时保证安全性。同时，高速公路一般建设的坡度较小，路面十分平整，各类交通设施

完善，使得行车条件大为改善。

(4) 服务体系完备由于高速公路具有全封闭行车的特点，因此沿线设置了完善的服务区，配备了停车场、加油站、超市、餐厅和厕所等服务设施，为往来车辆提供停车、加油、休憩等完备的服务。

(二) 高速公路交通流量不确定性影响因素高速公路车流量较大，且其交通流量分布受时间、天气、车辆事故等多方面因素的影响。考虑到交通流量对于高速公路充电站的规划有直接影响，因此有必要充分考虑交通流量的不确定性，此处对影响高速公路交通流量分布的因素进行总结，具体如下：

(1) 时间因素高速公路交通流量具有较为明显的时间特征。对于以短途出行车辆为主的高速公路路段，其日交通车流量一般集中于上午 8-10 点和下午 15-18 点，该特征和交通流量构成密切相关，其日交通流量的时间特征一般较为明显。另一方面，

在国庆节、元旦和春节等法定假日期间，全国各地高速公路车流量剧增，容易发生车辆事故和阻塞等情况，从而进一步对车流量的分布产生影响。

(2) 天气因素天气因素对于车辆出行有较大影响，降雨、降雪和大雾等天气下，一般会导致出行时间变晚、行车速度降低，延误到达目的地时间，甚至部分人会选择更改行程或选择其他出行方式。当天气影响较为严重时，高速公路可能直接封闭。同时，恶劣天气下，高速车辆事故发生数目往往增加，使得道路的行车条件进一步恶化。

(3) 车辆事故高速公路行车速度快且车流量大，路径选择较少，一旦发生车辆事故，会对车流量分布产生较大影响。事故不仅会导致事故路段通行受阻，也会由于车辆阻塞而对上游车流分布产生影响。车辆事故本身发生的时间、位置和严重程度都具有较大的不确定性。对于固定路段，经长期统计得到的车辆事故一般具有一定的统计规律。

3.2 考虑车辆事故的动态交通仿真方法本节主要研究车辆事故对于高速公路交通流量不确定性的影响。在 3.2 节路段传输模型的基础上，考虑车辆事故等因素的影响，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法。

#### (一) 车辆事故特性分析 16

高速公路车辆事故的发生时间和空间位置都具有较大的随机性，因此有必要先分析其特性和影响因素，从而针对性地在车流模拟过程中予以考虑。相比于城市道路网络，高速公路车辆事故的主要特点[59]如下。

(1) 事故影响较大：车流量大，车速较快，事故后果更为严重，容易导致二次事故。

(2) 追尾事故较多：主要因为疲劳驾驶、天气因素、不按规定停车、随意及违法超车、超载行车、车辆制动性能不符合要求；

(3) 事故受地形、路段和设施影响较大：不同路段的行车条件差别较大，相应的基础设施差别也较大，事故概率受其影响较大；

(4) 事故时空分布规律较为明显：时间、空间分布规律均较为明显。

针对以上特征，将其具体分析如下：

(1) 事故影响较大高速公路车流量较大、行驶速度快，当发生交通事故时，往往后果较为严重，

影响车辆数目和伤亡人数较多，甚至容易诱发二次事故。因此，相比于城市范围内的道路网络，高速公路车辆事故的影响更大，事故处理所需时间更长。

(2) 追尾事故较多追尾是我国高速公路事故中最为普遍的一类交通事故，约占到事故总数的30%。追尾事故的主要诱因有疲劳驾驶、天气影响、不按规定停车、随意及违法超车、超载行车、车辆制动性能不符合要求等。

(3) 事故受地形、路段和设施影响较大高速公路路过的地形多样，不同路段的行车条件差别较大。如有些高速公路道路中间分隔栏过矮，防护栏无法有效隔离夜间行车时所使用的远光灯，会车时影响道路另一侧驾驶员的视线，从而引发事故。部分高速公路车流量过大，导致路面受损较为严重，使道路经常处于维修状态，也容易引发交通事故。

(4) 事故时空分布规律较为明显相比于城市范围内的车辆事故，高速公路车辆事故的时空分布规律较为明显。从一天 24h 来看，事故经常集中于白天车流量较大的时间段（7-9 时/14-16 时）；从每周来看，周末的车辆事故发生频率略高于工作日；从月份来看，由于春节期间高速车流量剧增，且降雪大雾等天气发生概率较大，因此我国车辆事故普遍集中在 1-2 月。在空间分布特征上，立体交叉、收费站、驶入驶出收费站的连接道路等处发生车辆事故的概率相对较高。同时，车辆事故的空间分布还和车流密度有较大联系。

(二) 基于蒙特卡洛的车辆事故抽样方法 17

由于车辆事故的发生频次、时空分布具有一定的统计规律特性，因此采用蒙特卡洛方法对车辆事故发生的时空位置进行抽样。本节首先通过抽样确定事故发生频次，再通过抽样确定事故发生的时间，最后确定事故发生的位置，通过长期模拟并取平均值体现车辆事故对于高速公路车流分布的影响。

(1) 事故频次抽样对于某确定高速路段，经长期统计所得到的车辆事故发生频次（次/天）一般具有较为明显的统计规律，可以认为某路段每年平均每天发生的车辆事故数目较为稳定。同时，在高速公路事故分析时，通常认为该路段下次即将发生的车辆事故和前次事故无关，即车辆事故的发生具有无记忆性。因此，可认为无事故时长服从指数分布，其概率分布函数为：

( ) 1A  
tF t e (3-1)

(2) 车辆事故发生时间抽样高速公路车辆事故的发生频率在一天 24h 内具有一定的统计特征。文献[58]统计了天津市高速公路车辆事故的时间分布规律，本文参考其车辆事故发生时间的统计数据，具体如图 3-1 所示。

图 3-1 天津市部分区域高速公路车辆事故发生时间统计利用图中事故发生的时间统计结果，可计算车辆事故发生在各个时段内的统计概率。将各时段概率设置为图 3-2 中对应区间的长度，区间总长为 1，通过生成[0,1] 区间随机数  $R_t$  进行抽样。当  $R_t$  落在对应时段的区间时，即认为事故发生于该时段内。

图 3-2 车辆事故发生时间抽样示意图

(3) 事故发生空间位置抽样 18

高速公路车辆事故的发生位置受到车流密度、设施分布、道路状况、地形路段等多方面因素的影响，本文主要考虑车流密度对事故发生位置的影响。文献[68]

统计了法国超过 2000km 高速公路发生的车辆事故，并分析了车辆事故频率和车流量之间的关系，其归纳的统计结果如图 3-3 所示。

图 3-3 车辆事故和车流量统计关系图中，车辆事故随车流变化呈现“U 型曲线”：当车流量较小时，车速较快，车辆事故数目较多；当车流量增大时，平均行车速度降低，车辆事故数减少；当车流量进一步增大时，由于车流密度太大，即便行车速度较低，也容易产生车辆事故。参考图 3-3 的统计规律，对于不同车流量的路段设置了事故概率，所有路段事故概率之和为 1。如图 3-4 所示，仿照车辆事故发生时间所采用的抽样方法，通过生成[0,1]区间随机数  $R_l$  确定事故位置。

图 3-4 车辆事故发生位置抽样示意图

(4) 考虑车辆事故的动态交通仿真流程通过车辆事故发生频次和时空位置的抽样，确定了一天中事故发生的时间和路段，若未发生事故则采用常规路段传输模型方法进行交通仿真；若发生车辆事故即分析事故影响。记录模拟周期  $nd$  天内各个路段的日车流量分布，将多次抽样得到的  $nd$  条车流量曲线叠加并取均值，得到了考虑事故影响的车流分布，具体流程如图 3-5 所示。 19

图 3-5 考虑车辆事故的动态交通仿真流程

3.3 电动汽车 SOC 变化模型

基于 3.3 节提出的考虑车辆事故的动态交通仿真方法，本节分析电动汽车SOC 行驶过程中的变化，建立电动汽车 SOC 变化模型。假定电动汽车电量消耗和行驶距离  $x$  成正比，将电动汽车驶入高速公路之前的荷电状态设置为 0.5-1 之间均匀分布，则单辆电动汽车 SOC 的变化如图 3-6 和 3-7 所示。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 其他功能设施：除却以上基本服务设施外，服务区还包括汽车修理厂和住宿房间等其他功能性设施。为满足服务区供电、通信和给排水等基本功能，还配置了相应的变压器、给排水和通信设施。
2.2 服务区规划的基本原则及方法
2.2.1 基本原则服务区通常分布于高速公路的两侧，在上行和下行车道分别设置，且两侧服务区的布置一般是相同的，称为“一对服务区”。该规划方法主要是考虑到服务区成对存在可以有效节省给排水管网、电力网络的架设费用，同时也可以节省服务区物资配送、维修等费用。以下从“服务区间距”和“服务区位置选取”两方面分析服务区规划的影响因素和基本原则。
2. 当规划对象为一条高速公路全线上的服务区时，从以下三个方面分析服务间距选取的影响因素：
安全行车：从交通安全出发，根据国外交通工程相关研究，一般在高速公路上行驶时，每连续行驶 2-3 小时便需要停车休息 5-10 分钟，连续行驶 5 小时需要停车休息 1 小时，每天最好连续行驶不要超过 8 个小时。因此，服务区间



距的选取应考虑安全行车的需求，以供驾驶员休息。

车辆行驶加油：考虑到高速公路车速一般为每小时 80-100km，假定司机提前 20-30 分钟发现燃料即将耗尽，则应保证服务设施的间距应当为 30-50km。

对于交通流量较大的路段，考虑到有加油需求的车辆较多，服务区间距应适当减小。

城市分布：我国城镇距离一般不超过 60km，乡村间距平均在 10km 左右。

对于城镇分布密度高的地方，出行需求较大，交通量较大，且短距离出行较多，

在服务区间停留的比例相对较少。因此，经济发达、人口稠密的地区服务设施的间距应适当缩小；反之，对于人口稀疏的地段，服务设施间距应扩大。 9

总的来看，除却以上三方面影响因素外，还需要考虑驾乘人员的生理需求、

车辆的故障维修需求、事故救援、公路重要性等方面的影响。

3. 同时，停车场等相应设施的规模也应适当扩大，以满足车辆停靠的需求。

较大的城镇、风景区附近：服务区设置在较大的城镇、风景区附近，不仅可以服务于更多的车辆，也可以带来更大的经济收益。同时，相应的物资供应、管理养护、员工上下班成本也可以大为降低。城镇附近的服务区车辆以短途出行为主，停留时间普遍较短，而风景区附近车辆以中远距离出行为主，平均停留时间较长。

地形路段合理：地形路段条件是服务区地点选择的基础，合理选择地形路段可以减小服务区的施工难度，同时也可以减小服务区施工对于高速公路路基的影响。服务区应尽量避免将服务区建设在小半径曲线路段或陡坡路段内。

养护管理、物资供应条件较好：服务区选址应充分考虑养护管理和物资供应的难度，选择供电、给排水和物资供应容易解决的地点。服务区规划中对于“服务区一般成对存在”的要求，也主要是出于养护管理、物资供应成本的考虑。

2.2.2 规划方法影响服务区选址的其他因素还包括交通枢纽地点、交通技术条件和路段性质等等，实际服务区规划仍然主要以经验原则为主，通用的模型或计算方法较少。

服务区规划基本方法分析如下：

如上节所述，当前高速公路服务区规划主要以经验性原则为主。对于某条高速公路全线的服务区规划，其常用规划流程如下：

步骤 1：确定高速公路结构、车道数、沿线地理环境、路段走向、路段长度等基本信息，调研公路沿线城镇的空间分布和社会、经济发展水平；

步骤 2：调研高速公路各路段的交通流量，包括各城镇的出行需求、交通流量和驶入率预测等，需要根据历史数据对各路段未来的交通流量进行预测，以保证所规划服务区可以满足日益增加的交通流量需求；

步骤 3：参考相关行业标准 and 上节所分析的基本原则，考虑交通流量、地形 10

路段、物资供应和城镇分布等约束条件，计算各路段的服务区设置间距，初步确定适合建设服务区的路段，选取备选站址；

步骤 4：基于交通流量和驶入率的预测，结合人均消费金额、车辆平均载客人数等统计调研数据，考虑服务区加油、超市、餐厅的营业收入以及建设、经营等支出，评估备选站址的收益，结合服务区间距的约束，得到服务区选址位置；

步骤 5：确定服务区位置后，根据所调研的实际交通流量，确定服务区需要配置的具体设施。

4. 从图中可知，评价指标分为 7 个方面。其中，服务间距主要评价所规划服务区之间的距离；地形路段主要衡量行车安全和服务区建设难度；交通流量用于评价所建设的服务区能服务的车辆数目，需要考虑到该路段在未来有可能增加的交通流量；城镇和景区距离主要考虑该服务区能否尽可能满足公路沿线的出行需求；经济效益用于衡量规划方案的经济性，可通过“人均消费”等统计参数进行估算；给排水、电力设施和物资供应难度主要考虑给排水管和电力设施建设、服务区日常物资供应的难度；考虑到服务区对于事故紧急救援的作用，将“紧急救援覆盖率”也归入指标。

层次分析法可以综合考虑服务区规划过程中的各方面影响因素，给出较为全面的评价，从而保证选址方案的全面性。然而层次分析法十分依赖于各指标权重的选取，使得该方法受主观影响较大。

5. 驶入率的影响因素主要包括车辆类型、地域差别、交通流量性质等，概述如下：

①车辆类型：私家车主要是短途出行，一般从出发地到目的地行驶距离较短，

在服务区以加油、休息、购物为主，对于服务区的需求率较低；大客车主要为群体出行，一般 2 小时停车进入服务区一次，以满足乘客的入厕、就餐等需求，

驶入率相对较高；货车对于服务区需求率较高，驾驶人员需要休息、用餐、车辆检修等。

6. ③交通流量性质：交通流量主要可以分为过境交通流量和区域交通流量。过境交通流量一般是长途货运、客运车辆，出行距离较远，一般休憩、就餐大多选择高速公路两侧的服务区，需求相对较高。区域交通流量主要是私家车，以短途出行为主，因此驶入率相对较低。

2.3 高速公路充电站和服务区规划对比分析目前服务区的相关规划和研究都已经较为成熟，而电动汽车充电站规划的相关研究仍处于起步阶段，可供参考的实践经验还较少。考虑到高速公路充电站和服务区所处场景、功能定位都具有一定的相似性，

7. 高速公路充电站：现阶段规划研究主要以充电站收益最大、充电等待时间最小、全社会成本最小等为原则；对于实际地理因素的考虑较少；对于配套服务设施的考虑较少，有部分研究考虑了变压器等电力设施的建设成本。

8. 高速公路充电站：主要计算车辆充电收益；计算方法上一般根据每辆车充电的电量消耗计算运营收益。

9. 高速公路充电站：通过车流模拟方法确定充电需求分布；采用排队论、聚类算法等确定配置的充电桩数目。

10. 最后，建立了包括目标函数和约束条件的高速公路充电站规划实用化数学模型，使得高速公路充电站规划方法更加实用。 14

第 3 章考虑车辆事故的动态交通仿真及电动汽车 SOC

变化模型本章首先分析高速公路交通流量特性，介绍路段传输模型，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法，采用基于



蒙特卡洛的车辆事故抽样方法确定事故发生的时空位置，基于路段传输模型分析事故影响，通过单次车辆事故算例验证车辆事故对于交通流量不确定性的影响。基于以上考虑车辆事故的动态交通仿真方法，建立电动汽车 SOC 变化模型，分析路上行驶、充电选择和站内等待过程，提出基于改进遗传算法的求解方法，并归纳高速公路充电站规划总体求解流程。

11. 高速公路承担着城市乃至各省之间的人口、物资的流动需求，是各个区域间建立联系的基础。

12. 一般小汽车速度可达到 120 公里/小时，货运卡车可达到 100 公里/小时。结合我国的高速公路行车标准，车辆平均速度可达 80-100 公里/小时，相比于一般公路可提高 2-3 倍。

13. 一般的普通二级公路宽约 12 米，车辆通行的能力一般为 4000-5000 辆/日；而对于宽 35 米的一条高速公路，通过量可达 40000 辆/日。相比于城市内和城际的普通公路，高速公路车流量更大。

14. 同时，高速公路一般建设的坡度较小，路面十分平整，各类交通设施 15 完善，使得行车条件大为改善。

15. 对于以短途出行车辆为主的高速公路路段，其日交通车流量一般集中于上午 8-10 点和下午 15-18 点，该特征和交通流量构成密切相关，其日交通流量的时间特征一般较为明显。另一方面，在国庆节、元旦和春节等法定假日期间，全国各地高速公路车流量剧增，容易发生车辆事故和阻塞等情况，从而进一步对车流量的分布产生影响。

16. 当天气影响较为严重时，高速公路可能直接封闭。同时，恶劣天气下，高速车辆事故发生数目往往增加，使得道路的行车条件进一步恶化。

17. 事故不仅会导致事故路段通行受阻，也会由于车辆阻塞而对上游车流分布产生影响。车辆事故本身发生的时间、位置和严重程度都具有较大的不确定性。对于固定路段，经长期统计得到的车辆事故一般具有一定的统计规律。

3.2 考虑车辆事故的动态交通仿真方法本节主要研究车辆事故对于高速公路交通流量不确定性的影响。在 3.2 节路段传输模型的基础上，考虑车辆事故等因素的影响，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法。

18. 因此，相比于城市范围内的道路网络，高速公路车辆事故的影响更大，事故处理所需时间更长。

19. 追尾事故的主要诱因有疲劳驾驶、天气影响、不按规定停车、随意及违法超车、超载行车、车辆制动性能不符合要求等。

20. 如有些高速公路道路中间分隔栏过矮，防护栏无法有效隔离夜间行车时所使用的头灯，会车时影响道路另一侧驾驶员的视线，从而引发事故。部分高速公路车流量过大，导致路面受损较为严重，使道路经常处于维修状态，也容易引发交通事故。

21. 在空间分布特征上，立体交叉、收费站、驶入驶出收费站的连接道路等处发生车辆事故的概率相对较高。同时，车辆事故的空间分布还和车流密度有较大联系。

22. 本节首先通过抽样确定事故发生频次，再通过抽样确定事故发生的时间，最后确定事故发生的位置，通过长期模拟并取平均体现车辆事故对于高速公路车流分布的影响。

23. 同时，在高速公路事故分析时，通常认为该路段下次即将发生的车辆事故和前次事故无关，即车辆事故的发生具有无记忆性。

24. 图 3-1 天津市部分区域高速公路车辆事故发生时间统计利用图中事故发生的时间统计结果，可计算车辆事故发生在各个时段内的统计概率。

25. 图 3-3 车辆事故和车流量统计关系图中，车辆事故随车流变化呈现“U 型曲线”：当车流量较小时，车速较快，车辆事故数日较多；当车流量增大时，平均行车速度降低，车辆事故数减少；当车流量进一步增大时，由于车流密度太大，即便行车速度较低，也容易产生车辆事故。参考图 3-3 的统计规律，对于不同车流量的路段设置了事故概率，所有路段事故概率之和为 1。

26. 记录模拟周期 nd 天内各个路段的日车流量分布，将多次抽样得到的 nd 条车流量曲线叠加并取均值，得到了考虑事故影响的车流分布，具体流程如图 3-5 所示。 19

图 3-5 考虑车辆事故的动态交通仿真流程

3.3 电动汽车 SOC 变化模型

基于 3.3 节提出的考虑车辆事故的动态交通仿真方法，本节分析电动汽车SOC 行驶过程中的变化，建立电动汽车 SOC 变化模型。假定电动汽车电量消耗和行驶距离 x 成正比，将电动汽车驶入高速公路之前的荷电状态设置为 0.5-1 之间均匀分布，则单辆电动汽车 SOC 的变化如图 3-6 和 3-7 所示。

3. 021_第3部分			总字数：6776
相似文献列表			
去除本人文献复制比：97%(6575)		文字复制比：97%(6575)	疑似剽窃观点：(0)
1	考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划研究 周昊(导师：葛少云;李小宇) - 《天津大学硕士论文》 - 2018-12-01	95.7% (6484)	
		是否引证：否	
2	2016203202_周昊_考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-11-13	91.3% (6188)	
		是否引证：否	
3	57662000_周昊_考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划 周昊 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-11-11	91.3% (6188)	
		是否引证：否	

4	考虑车辆事故影响的高速公路充电站与服务区协同规划 葛少云;周昊;刘洪;孙旻;张强;陈波; - 《电力系统及其自动化学报》- 2018-12-17 1	19.7% (1337)
5	高速路网上电动汽车充电站布点优化 贾龙;胡泽春;宋永华;占恺峤;丁华杰; - 《电力系统自动化》- 2015-08-10	3.0% (203)
		是否引证: 否

原文内容

20

图 3-6 电动汽车 SOC 时间变化模型图 3-7 电动汽车 SOC 空间变化模型

(1) 路上行驶过程T2 时刻在 xa 处发生事故，该时段车辆 SOC 不发生变化。该电动汽车经过充电站时的 SOC(xc)不受事故影响，但是到达充电站时间被延后，即车辆事故影响了 SOC 的时间变化。对于长度为△L 的路段，车辆通过该路段所需时间△T 取决

于该路段的车流密度 ρ：

$$\frac{crit}{max,0,(),()}\frac{crit}{f}\frac{jam}{crit\ jam}\frac{jam}{jam}\frac{L}{v}\frac{T}{L}\frac{q}{V}V\quad V\quad (3-2)$$

(2) 充电选择过程 21

对于有充电需求的车主，其途径 xc 处的充电站时，本文假定其做出以下判断：

步骤 1：判断当前充电站能否满足充电等待时间约束：满足约束则进站充电，

否则进行步骤 2；

步骤 2：如继续行驶，判断能否在行驶里程内到达下一充电站：如可以到达，

则行驶到下一充电站并返回步骤 1 重新判断；否则认为规划方案不合理。

(3) 电动汽车站内充电等待模型图 3-8 充电等待时间更新方法步骤 1：搜寻最先完成当前服务进入空闲状态的充电桩并记为 k，则位于等

待队列最前端的第 1 辆车在 k 处充电，将其完成充电所需时长记为△t1，则更新

tk 为 tk=tk+△t1；

步骤 2：再次搜寻 min(t1,t1,...,tr)对应的充电桩并记为 1，则充电桩 1 服务于等待队列中的第 2 辆车，更新 t1 为 t1=t1+△t2；

步骤 3：重复步骤 2，不断寻找 min(t1,t1,...,tr)对应充电站编号，更新对应的 (t1,t1,...,tr)，直到 mw-1 次更新后，第 mw 辆车开始充电。如图 3-18 所示，假定其在 T5 时刻开始充电，则其等待时间为：

$$\frac{w\ 5\ 4}{T\ T\ T}\quad (3-3)$$

3.4 基于遗传算法的高速充电站求解方法

(1) 遗传算法编码本文采用改进的遗传算法作为求解算法，父代和子代种群共同竞争产生下一

代，防止父代中的优良个体丢失，加快收敛速度。由于约束条件中设置了充电站 22

成对存在约束，则对于每一对充电站，只需确定一个站址和两个充电站容量。以

0.1 公里为间隔对路网划分并编号，以表示站址的相对位置，记为 4 个十进制数。

同时，用 2 个十进制数表示每个充电站的容量，即每对充电站共用 8 个十进制数表示。以上考虑充电站成对约束的编码方法缩短了染色体长度，有助于加速寻优。

(2) 考虑站址容量调整的遗传过程本研究以收益最大为规划目标，则对于满足约束条件的规划方案，其站址和容量应向收益增大的方向调整。然而，由于算法本身的交叉变异具有随机性，子代染色体的适应度可能低于父代个体。因此，本文以收益增加为导向，在算法遗传过程中对规划方案的站址和容量进行调整，以进一步加快寻优速度。

图 3-9 站址容量调整过程假定所规划新建充电站总数为 s 对，对于算法进化过程中产生的某规划方案，将其中第 i (i=1,2,...,s)对充电站的站址和两个容量分别记为 10、r1 和 r2，

该规划方案的适应度记为 f，按照以下步骤进行站址容量的调整：

步骤 1：如图 3-19 所示，将第 i 对充电站从初始站址 10 向上游、下游分别移动△x，计算调整后的两种总体规划方案是否满足等待时间约束。如 r1 (r2)

对应的充电站不满足等待时间约束，则调整  $r1=r1+1$  ( $r2=r2+1$ )直至满足约束，分别计算新站址  $10-\Delta x$  和  $10+\Delta x$  对应的规划方案总收益  $f1$  和  $f2$ ，进行步骤 2；

步骤 2：比较  $f$ 、 $f1$  和  $f2$ ：如  $f1$  和  $f2$  的收入均小于  $f$ ，则停止调整，认为在原始站址最优，不改变原规划方案；否则进行步骤 3；

步骤 3：如  $f1$  ( $f2$ )的收益最大，则将  $10-\Delta x$  ( $10+\Delta x$ )作为新的 10，将 10 继续向该方向移动，校验等待时间约束并调整  $r1$  和  $r2$ 。容量调整完毕后，继续向该方向移动站址，直至总收益减小，则认为在原站址 10 附近达到最优站址和容量调整；

步骤 4：重复步骤 1，步骤 2 和步骤 3 直至完成该规划方案中所有站址和容量的调整。  
通过以上步骤即完成了单个规划方案的调整，调整该代种群中所有规划方案，即完成了单次遗传过程调整。

(3) 充电站规划总体求解流程 23

图 3-10 充电站规划整体求解流程充电站规划总体求解流程如图 3-10 所示：输入路网和配电网基本参数后，先通过 3.3 节所提出的考虑车辆事故的动态交通仿真方法得到高速公路车流量分布，再利用改进遗传算法生成初始规划方案，利用 3.3 节的 SOC 变化模型和 2.4 节的数学模型计算对应的收益，在遗传过程中根据收益调整规划方案的站址和容量，按照调整后的收益选择高收益方案并交叉变异生成新的方案，重复算法进化过程直至收敛。

3.5 本章小结本章分析了高速公路行车特性和事故影响因素，介绍了路段传输模型，提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法，采用蒙特卡洛抽样确定事故发生的时空位置，结合路段传输模型进行事故影响分析，通过高速公路车辆事故算例验证了车辆事故对交通流量不确定性的影响。在以上考虑车辆事故的动态交通仿真方法的基础上，研究电动汽车的路上行驶、充电选择和站内等待过程，建立 SOC 变化模型，采用改进遗传算法作为模型求解方法，归纳了高速公路充电站规划的总体求解流程。

24

第 4 章算例分析

基于第 2 章所提出的高速公路充电站规划数学模型和第 3 章所提出的考虑车辆事故的动态交通仿真方法、电动汽车 SOC 变化模型以及基于改进遗传算法的求解方法，本章选取高速路网作为算例场景，从车辆事故、服务区和改进遗传算法方面进行规划方法有效性和实用性的验证。

4.1 算例概况如图 4-1 所示，本文参照文献[54]的算例设置高速路网，路网全长为 465km，节点 1-5 为五个收费站，节点 6-9 为高速交叉口，路段参数如表 4-1 和附表 3 和 4 所示。路网中设置 7 对已有服务区，服务区 1-7 分别和配网节点 3、6、14、21、24、29 和 31 耦合，配网和负荷参数详见附录表 1 和表 2。

图 4-1 高速路网服务区位置和 35kV 线路分布表 4-1 高速路网路段参数起始节点终止节点长度

/km	起始节点	终止节点	长度
/km	1	6	40
	5	6	40
	6	7	100
	7	2	30
	2	8	45
	8	3	25
	3	8	9
	65	9	4
	35	9	6
	70	—	—

预估每 50km 需要建设一个充电站[69]，共需要建设 10 对充电站。本文采用了几种较为普及的电动汽车进行模拟，电动汽车的电池容量、续航里程如表 4-2。

表 4-2 5 种常见电动汽车参数型号电池容量

/(kW·h)	续航里程	/km	所占比例 /%
Zotye 5008EV	32.0	180	8.24
Nissan Leaf	24.0	150	19.85
Roewe E50	18.0	160	16.55
BJ-E150	25.6	180	26.47
BYD-E6	60.0	280	28.89

城市 1-5 之间的典型日 OD 特性如图 4-2。

图 4-2 城市间典型日交通 OD 特性该区域电动汽车渗透率为 10%，平均载客数为 4 人，最大充电等待时间为 0.5 小时。高速路网的公里事故率[70]设置为每年 1.4 起/公里，车辆事故的蒙特卡洛抽样模拟时间  $nd$  设置为 1 万。考虑到高速公路周围负荷分布情况和 10kV

线路的供电范围，认为服务区和新建充电站都采用 35kV 线路供电，新建线路型号为 LGJ-240/30，其单位架设成本为 45 万元/km。

4.2 仅考虑车辆故障模拟环节的对比分析本文首先对比复现文献[54]的算例，以验证考虑车辆事故的动态交通仿真方法的有效性。

将文献[54]算例中采用的基于路段传输模型的动态交通仿真替换为考虑车辆事故的动态交通仿真方法，不改变文献[54]的其他任何求解流程和参数设置，

不考虑配电网、服务区等影响，将文献[54]算例场景的对比复现结果展示如图 4-3 和表 4-3。

图 4-3 考虑车辆事故前后文献[54]充电站站址表 4-3 考虑车辆事故前后文献[54]充电桩数目充电站编号文献[54]原充电桩数目考虑事故后充电桩数目充电站编号文献[54]原充电桩数目考虑事故后充电桩数目

分析图表可知，考虑车辆事故的影响后，各充电站配置的充电桩数目基本不变，但是充电站位置发生了明显变化，各站址均向各自车流的上游方向发生了移动。为分析该结果，以 1 号充电站为例，将其车流量对比展示如图 4-4 所示。



图 4-4 1 号充电站车流量变化考虑车辆事故后，图中原站址的车流量曲线 1 向右侧移动为曲线 2，即由于受到车辆事故的影响，部分车辆被阻塞在事故处，车辆充电需求的大小不发生变化，但该部分车辆到达充电站的时间被延后，改变了充电需求的分布状况，表现为充电站车流量在时间轴上向右侧移动。同时，车流量曲线 1 和 3 接近重合，

即通过将站址向路段上游移动，部分抵消了车辆事故对于车辆延迟进站的影响。

为进一步说明高速公路车辆事故对于充电站规划的影响，将图 4-3 中 1-4

号充电站的移动距离和道路日总车流量展示如图 4-5 所示，其中日总车流量可由典型日交通 OD 矩阵得到。

图 4-5 1-4 号充电站的站址移动距离对比 28

图中，充电站 1 和 2 所在路段日车流量分别为 38881 辆和 42085 辆，由于车流量较大的路段车辆事故发生概率较大，因此充电站 1 和 2 所在路段受到车辆事故影响较重，表现为新建充电站与原充电站距离较远，分别为 18.6km 和 15.5km。而充电站 3 和 4 所在路段车流量相对较小，对应的站址移动距离也相对较小，分别为 10.6km 和 9.2km。因此，在高速公路充电站规划时，车流量较大的路段更应该考虑车辆事故对于站址位置的影响。

4.3 考虑车辆事故的服务区和充电站协同规划在考虑车辆事故和配电网等影响的前提下，利用 3.5 节的求解流程对 4.1 节算例场景进行求解，对比规划方案中是否考虑服务区对于规划收益的影响，将各项年收支展示如表 4-4 所示。

表 4-4 规划方案各项收支对比（万元/年）

情景总收入 充电收入 乘客消费收入 充电桩建设成本 线路建设成本 停车场建设成本 休息设施建设成本 运行维护费用 不考虑服务区 5655.3 7 6827 1093.9 703 366.75 693 394.9 107.88

考虑服务区 5787.3 4 6894.2 893.7 717 342 541 304.8 95.27

对比两种情景可知，由于加入服务区后对规划区域总体的充电需求影响较小，因此在两种情景下的充电收入和充电桩建设成本较为接近。同时，考虑服务区后，由于部分充电车辆的乘客选择在服务区内购物休息，该部分收入不纳入规划收益，因此考虑服务区的规划方案乘客消费年收入减少了 200.2 万元。同时，

该部分乘客可以使用服务区内的已有的停车场和休息设施，故停车场和休息设施建设年成本分别减少 152 万元和 90.1 万元。综上，虽然考虑服务区后乘客消费收入减少，但是该方案也明显减少了停车场和休息设施的建设成本，考虑服务区后，其总收入增加了 131.97 万元。

各站的位置及容量如下图和表所示。 29

图 4-6 考虑车辆事故的服务区和充电站协同规划位置表 4-5 充电站位置和容量各对充电站编号考虑服务区不考虑服务区  
站址坐标 (km) 充电桩数目 站址坐标 (km) 充电桩数目 1 (46.2, 124.1) (39, 36) (48.3, 120.5) (51, 47) 2 (31.2, 100) (19, 20) (38.4, 100) (25, 26) 3 (84.6, 63.1) (31, 26) (82.8, 65.8) (39, 35) 4 (94.3, 22.9) (40, 45) (96.3, 28.9) (49, 55)

各对充电站编号考虑服务区不考虑服务区站址坐标 (km) 充电桩数目 站址坐标 (km) 充电桩数目 5 (123, 49.2) (31, 31) (127.8, 51.1) (42, 38) 6 (158.2, 51.8) (28, 26) (156.1, 53.9) (29, 25) 7 (154.8, 79.2) (19, 24) (155.3, 81.2) (25, 27) 8 (170, 110) (52, 51) (170.8, 110.8) (50, 51) 9 (131.8, 100) (29, 27) (133.7, 100) (27, 26) 30 10 (84.7, 100) (25, 22) (89.9, 100) (29, 27)

4.4 改进遗传算法的效果分析本文对遗传算法进行了改进，在遗传过程中考虑了站址容量的调整。为验证改进遗传算法的有效性，将常规遗传算法和该方法进行对比，得到两种情景下的收敛情况如图 4-7 和表 4-6。

图 4-7 算法最优适应度的收敛曲线对比表 4-9 算法收敛速度对比情景适应度值（万元） 收敛代数用时(min)

常规遗传算法

5787.5 66 代 84.9

改进遗传算法

5785.6 35 代 48.3

由图表可知，改进的遗传过程有效地加快了算法的寻优速度。在最优适应度值基本一致的前提下，常规算法在 66 代时开始收敛，用时为 84.9min。改进算法在第 35 代时开始收敛，用时为 48.3min，相比于常规方法节省了约 43% 的时间。 31

4.5 本章小结本章主要在高速路网场景下进行充电站规划方法有效性的验证，从道路网络、配电网络等方面介绍算例场景，分析了车辆事故、服务区、改进遗传算法对规划结果的影响，仿真结果表明：车辆事故对于高速公路充电站选址有明显影响，考虑车辆事故后充电站位置需要向车流上游方向移动；在充电站规划过程中考虑服务区的影响，充分利用已有服务区的设施，可以有效节省规划方案成本；通过在遗传过程中考虑站址容量调整，改进遗传算法求解速度明显加快。 32

展望本文选取高速公路作为研究场景，主要研究了考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划方法，从规划模型、车流模拟方法、站内排队等待、

求解算法等方面提出相应的模型和分析方法，并通过算例验证了规划方法的有效性。在未来的研究过程中，主要考虑以下两方面后续研究：

(1) 高速公路光储充电站规划研究高速公路附近一般负荷密度较低，而充电站本身负荷较大，因此需要长距离架设配电线路为充电站供电，增加了充电站建设投资。通过为充电站配置光伏和储能装置，充电站可通过自发自用有效减少运营成本，同时也避免了充电站接入对于上级配电网安全运行产生的不利影响。

(2) 高速公路充电引导研究目前，电动汽车的充电引导研究主要集中在城市范围内有序充电引导，对于高速公路有序充电引导的研究还较少。在高速公路场景下，电动汽车车主的无序充电可能会导致部分充电站充电等待时间过长，影响服务质量。通过引导电动汽车车主的充电站选择，可以优化各个充电站的运营状况，减少车主总体等待时间。

(3) 充电站多阶段规划研究电动汽车渗透率对于充电站规划结果有重要影响，而考虑电动汽车渗透率动态变化的研究还较少。综合电动汽车保有量的增加和渗透率的变化，分析电动汽车在不同渗透率下的规划结果，针对目标年和中间年分别给出规划方案，

将有助于节省充电站建设投资，避免因充电站难以满足快速增加的充电需求和频繁扩容。 33

参考文献

- [1] 刘朝全, 姜学峰. 2017 年国内外油气行业发展报告[R]. 石油工业出版社, 2018.
- [2] 中国电力企业联合会规划发展部. 2016~2017 年度全国电力供需形势分析预测报告[J]. 电器工业, 2017(02): 11-16.
- [3] 交通运输部. 2016 年交通运输行业发展统计公报[J]. 交通财会, 2017(5): 92-96.
- [4] 黄志辉, 郝春晓, 王军方, 等. 机动车污染物排放量分析—《中国机动车环境管理年报(2017)》第 II 部分[J]. 环境保护, 2017(13): 42-47.
- [5] 国家发展改革委. 关于印发《电动汽车充电基础设施发展指南(2015-2020 年)》的通知[R]. 2015.
- [6] 袁长伟, 张倩, 芮晓丽, 等. 中国交通运输碳排放时空演变及差异分析[J]. 环境科学学报, 2016, 36(12): 4555-4562.
- [7] 中国汽车技术研究中心. 2015 年中国新能源汽车产业发展报告[R]. 社会科学文献出版社, 2015.
- [8] 国务院发展研究中心课题组. 中国汽车产业借鉴工业 4.0 的战略选择[R]. 中国经济报告, 2017.
- [9] 胡泽春, 宋永华, 徐智威, 等. 电动汽车接入电网的影响与利用[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(4): 1-10.
- [10] Mitsukuri Y, Hara R, Kita H, et al. Validation of voltage regulation method in distribution system utilizing electric vehicles[C]. IEEE Pes International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies. Washington, 2013:1-7.
- [11] Chang L, Jiu X, Mao M, et al. Voltage regulation of microgrids containing electric vehicles[C]. IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference, Hefei, 2016:3756-3763. 34
- [12] Joy E R, Thirugnanam K, Kumar P. Electric Vehicles Charging Station For Voltage Regulation in Distribution Network[C]. IEEE Transportation Electrification Conference, Washington, 2015:1-6.
- [13] Jian L, Xue H, Xu G, et al. Regulated Charging of Plug-in Hybrid Electric Vehicles for Minimizing Load Variance in Household Smart Microgrid[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(8): 3218-3226.
- [14] Wang Z, Wang S. Grid Power Peak Shaving and Valley Filling Using Vehicle-to-Grid Systems[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(3): 1822-1829.
- [15] 姚伟锋, 赵俊华, 文福拴, 等. 集中充电模式下的电动汽车调频策略[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(9): 69-76.
- [16] 张琨, 葛少云, 刘洪, 等. 智能配电系统环境下的电动汽车调频竞标模型[J]. 电网技术, 2016, 40(9): 2588-2595.
- [17] Han S, Han S, Sezaki K. Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency Regulation[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, 1(1):65-72.
- [18] Mu Y, Wu J, Ekanayake J, et al. Primary Frequency Response From Electric Vehicles in the Great Britain Power System[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(2): 1142-1150.
- [19] 武小梅, 谢旭泉, 林翔, 等. 电动汽车提供备用服务的地区电力市场模型[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(24): 71-76.
- [20] 李士动, 施泉生, 赵文会, 等. 计及电动汽车接入电网的备用服务多目标竞价优化[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(2): 77-83.
- [21] Sarker M R, Dvorkin Y, Ortega-Vazquez M A. Optimal Participation of an Electric Vehicle Aggregator in Day-Ahead Energy and Reserve Markets[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2016, 31(5): 3506-3515.
- [22] 吴红斌, 侯小凡, 赵波, 等. 计及可入网电动汽车的微网系统经济调度[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(9): 77-84.
- [23] 庄怀东, 吴红斌, 刘海涛, 等. 含电动汽车的微网系统多目标经济调度[J]. 电工技术学报, 2014(s1): 365-373.
- [24] Honarmand M, Zakariazadeh A, Jadid S. Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid[J]. Energy Conversion & Management, 2014, 86(10): 745-755.
- [25] Wu T, Yang Q, Bao Z, et al. Coordinated Energy Dispatching in Microgrid With Wind Power Generation and Plug-in Electric Vehicles[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(3): 1453-1463.
- [26] Qi F, Wen F, Liu X, et al. A Residential Energy Hub Model with a Concentrating Solar Power Plant and Electric Vehicles[J]. Energies, 2017, 10(8): 1159.
- [27] 刘洪, 陈星屹, 李吉峰, 等. 基于改进 CPSO 算法的区域电热综合能源系统经济调度[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(6): 193-200.
- [28] 杨铮, 彭思成, 廖清芬, 等. 面向综合能源楼宇的电动汽车辅助服务方案[J]. 电网技术, 2017, 41(9): 2831-2839.
- [29] 魏驊, 陈玥, 刘锋, 等. 基于主从博弈的智能小区代理商定价策略及电动汽车充电管理[J]. 电网技术, 2015, 39(4): 939-945.

[30] 杨晓东, 张有兵, 蒋杨昌, 等. 微电网下考虑分布式电源消纳的电动汽车互动响应控制策略[J]. 电工技术学报, 2018, 33(2): 390-400.

[31] 徐凡, 俞国勤, 顾临峰, 等. 电动汽车充电站布局规划浅析[J]. 华东电力, 2009, 37(10): 1678-1682.

[32] 肖湘宁, 温剑锋, 陶顺, 等. 电动汽车充电基础设施规划中若干关键问题的研究与建议[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 1-10.

[33] 葛少云, 李慧, 刘洪. 基于加权 Voronoi 图的变电站优化规划[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(3): 29-34.

[34] Taylor M J, Alexander A. Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations[C]. IEEE Power & Energy 36 Society General Meeting. Calgary, 2009: 1-6.

[35] Saberbari E, Saboori H, Saboori S. Utilizing PHEVs for Peak-Shaving, Loss Reduction and Voltage Profile Improvement via V2B Mode[C]. Electrical Power Distribution Networks.Tehran, 2014:1-7.

[36] 唐现刚, 刘俊勇, 刘友波, 等. 基于计算几何方法的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(8): 24-30.

[37] 所丽, 唐巍, 白牧可, 等. 考虑削峰填谷的配电网集中型充电站选址定容规划[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(7): 1052-1060.

[38] 葛少云, 冯亮, 刘洪, 等. 考虑车流信息与配电网容量约束的充电站规划[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 582-589.

[39] 麻秀范, 王皓, 李颖, 等. 基于变权 Voronoi 图和混合粒子群算法的电动汽车充电站规划[J]. 电工技术学报, 2017, 32(19): 160-169.

[40] 熊虎, 向铁元, 祝勇刚, 等. 电动汽车公共充电站布局的最优规划[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 65-70.

[41] 刘柏良, 黄学良, 李军, 等. 含分布式电源及电动汽车充电站的配电网多目标规划研究[J]. 电网技术, 2015, 39(2): 450-456.

[42] Wang G, Xu Z, Wen F, et al. Traffic-Constrained Multi objective Planning of Electric- Vehicle Charging Stations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(4):2363- 2372.

[43] 陈丽丹, 聂涌泉, 钟庆. 基于出行链的电动汽车充电负荷预测模型[J]. 电工技术学报, 2015, 30(4): 216-225.

[44] 徐青山, 蔡婷婷, 刘瑜俊, 等. 考虑驾驶人行为习惯及出行链的电动汽车充电站站址规划[J]. 电力系统自动化, 2016(4): 59-65.

[45] 张洪财, 胡泽春, 宋永华, 等. 考虑时空分布的电动汽车充电负荷预测方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(1): 13-20.

[46] 葛少云, 李荣, 韩俊, 等. 考虑电动出租车随机概率行为特性的充电站规划[J]. 电力系统自动化, 2016(4): 50-58.

[47] 刘洪, 李荣, 葛少云, 等. 考虑出租车随机行为特性及路网行程时间可靠性的充电站多目标规划[J]. 电网技术, 2016, 40(2): 433-441.

[48] 钱斌, 石东源, 谢平平, 等. 电动公交车换电站—电池充电站优化规划[J]. 电力系统自动化, 2014(2): 64-69.

[49] 韩伟强, 王贵斌, 文福拴, 等. 电动汽车充电设施多阶段最优规划[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2014, 41(5): 23-30.

[50] Li S, Huang Y, Mason S J. A multi-period optimization model for the deployment of public electric vehicle charging stations on network [J]. Transportation Research PartC Emerging Technologies, 2016, 65: 128-143.

攻读硕士学位期间发表的论文及其它成果

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 该电动汽车经过充电站时的 SOC(xc)不受事故影响, 但是到达充电站时间被延后, 即车辆事故影响了 SOC 的时间变化。
2. 由于约束条件中设置了充电站 22 成对存在约束, 则对于每一对充电站, 只需确定一个站址和两个充电站容量。以 0.1 公里为间隔对路网划分并编号, 以表示站址的相对位置, 记为 4 个十进制数。同时, 用 2 个十进制数表示每个充电站的容量, 即每对充电站共用 8 个十进制数表示。以上考虑充电站成对约束的编码方法缩短了染色体长度, 有助于加速寻优。
3. 然而, 由于算法本身的交叉变异具有随机性, 子代染色体的适应度可能低于父代个体。因此, 本文以收益增加为导向, 在算法遗传过程中对规划方案的站址和容量进行调整, 以进一步加快寻优速度。
4. 容量调整完毕后, 继续向该方向移动站址, 直至总收益减小, 则认为在原站址 10 附近达到最优站址和容量调整; 步骤 4: 重复步骤 1, 步骤 2 和步骤 3 直至完成该规划方案中所有站址和容量的调整。通过以上步骤即完成了单个规划方案的调整, 调整该代种群中所有规划方案, 即完成了单次遗传过程调整。
5. 3.5 本章小结本章分析了高速公路行车特性和事故影响因素, 介绍了路段传输模型, 提出考虑车辆事故的动态交通仿真方法, 采用蒙特卡洛抽样确定事故发生的时空位置, 结合路段传输模型进行事故影响分析, 通过高速公路车辆事故算例



验证了车辆事故对交通流量不确定性的影响。在以上考虑车辆事故的动态交通仿真方法的基础上，研究电动汽车的路上行驶、充电选择和站内等待过程，建立 SOC 变化模型，采用改进遗传算法作为模型求解方法，归纳了高速公路充电站规划的总体求解流程。 24

#### 第 4 章算例分析

基于第 2 章所提出的高速公路充电站规划数学模型和第 3 章所提出的考虑车辆事故的动态交通仿真方法、电动汽车 SOC 变化模型以及基于改进遗传算法的求解方法，本章选取高速路网作为算例场景，从车辆事故、服务区和改进遗传算法方面进行规划方法有效性和实用性的验证。

6. 路网中设置 7 对已有服务区，服务区 1-7 分别和配网节点

3、6、14、21、24、29 和 31 耦合，配网和负荷参数详见附录表 1 和表 2。

7. 本文采用了几种较为普及的电动汽车进行模拟，电动汽车的电池容量、续航里程如表 4-2。

8. 区域电动汽车渗透率为 10%，平均载客数为 4 人，最大充电等待时间为 0.5 小时。

9. 考虑到高速公路周围负荷分布情况和 10kV

线路的供电范围，认为服务区和新建充电站都采用 35kV 线路供电，新建线路型号为 LGJ-240/30，其

10. 为分析该结果，以 1 号充电站为例，将其车流量对比展示如图 4-4 所示。

图 4-4 1 号充电站车流量变化考虑车辆事故后，图中原站址的车流量曲线 1 向右侧移动为曲线 2，即由于受到车辆事故的影响，部分车辆被阻塞在事故处，车辆充电需求的大小不发生变化，但该部分车辆到达充电站的时间被延后，改变了充电需求的分布状况，表现为充电站车流量在时间轴上向右侧移动。同时，车流量曲线 1 和 3 接近重合，即通过将站址向路段上游移动，部分抵消了车辆事故对于车辆延迟进站的影响。

为进一步说明高速公路车辆事故对于充电站规划的影响，将图 4-3 中 1-4

号充电站的移动距离和道路日总车流量展示如图 4-5 所示，其中日总车流量可由典型日交通 OD 矩阵得到。

图 4-5 1-4 号充电站的站址移动距离对比 28

图中，充电站 1 和 2 所在路段日车流量分别为 38881 辆和 42085 辆，由于车流量较大的路段车辆事故发生概率较大，因此充电站 1 和 2 所在路段受到车辆事故影响较重，表现为新建充电站与原充电站距离较远，分别为 18.6km 和 15.5km。而充电站 3 和 4 所在路段车流量相对较小，对应的站址移动距离也相对较小，分别为 10.6km 和 9.2km。因此，在高速公路充电站规划时，车流量较大的路段更应该考虑车辆事故对于站址位置的影响。

4.3 考虑车辆事故的服务区和充电站协同规划在考虑车辆事故和配电网等影响的前提下，利用 3.5 节的求解流程对 4.1

节算例场景进行求解，对比规划方案中是否考虑服务区对于规划收益的影响，将各项年收支展示如表 4-4 所示。

11. 同时，考虑服务区后，由于部分充电车辆的乘客选择在服务区内购物休息，该部分收入不纳入规划收益，因此考虑服务区的规划方案乘客消费年收入减少了 200.2 万元。同时，该部分乘客可以使用服务区内的已有的停车场和休息设施，故停车场和休息设施建设年成本分别减少 152 万元和 90.1 万元。综上，虽然考虑服务区后乘客消费收入减少，但是该方案也明显减少了停车场和休息设施的建设成本，考虑服务区后，其总收入增加了 131.97 万元。

12. 为验证改进遗传算法的有效性，将常规遗传算法和该方法进行对比，得到两种情景下的收敛情况如图 4-7 和表 4-6。

13. 在最优适应度值基本一致的前提下，常规算法在 66 代时开始收敛，用时为 84.9min。改进算法在第 35 代时开始收敛，用时为 48.3min，相比于常规方法节省了约 43% 的时间。 31

4.5 本章小结本章主要在高速路网场景下进行充电站规划方法有效性的验证，从道路网络、配电网络等方面介绍算例场景，分析了车辆事故、服务区、改进遗传算法对规划结果的影响，仿真结果表明：车辆事故对于高速公路充电站选址有明显影响，考虑车辆事故后充电站位置需要向车流上游方向移动；在充电站规划过程中考虑服务区的影响，充分利用已有服务区的设施，可以有效节省规划方案成本；通过在遗传过程中考虑站址容量调整，改进遗传算法求解速度明显加快。

14. 展望本文选取高速公路作为研究场景，主要研究了考虑交通流量不确定性的高速公路充电站实用化规划方法，从规划模型、车流模拟方法、站内排队等待、求解算法等方面提出相应的模型和分析方法，并通过算例验证了规划方法的有效性。

15. 通过为充电站配置光伏和储能装置，充电站可通过自发自用有效减少运营成本，同时也避免了充电站接入对于上级配电网安全运行产生的不利影响。

16. 在高速公路场景下，电动汽车车主的无序充电可能会导致部分充电站充电等待时间过长，影响服务质量。通过引导电动汽车车主的充电站选择，可以优化各个充电站的运营状况，减少车主总体等待时间。

17. 综合电动汽车保有量的增加和渗透率的变化，分析电动汽车在不同渗透率下的规划结果，针对目标年和中间年分别给出规划方案，将有助于节省充电站建设投资，避免因充电站难以满足快速增加的充电需求和频繁扩容。

说明：1. 总文字复制比：被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比：去除系统识别为引用的文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比：去除作者本人文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4. 单篇最大文字复制比：被检测文献与所有相似文献比对后，重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分;绿色文字表示引用部分;棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



 [amlc@cnki.net](mailto:amlc@cnki.net)

 <http://check.cnki.net/>

 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>

研究生学位论文 (TMLC)